

ESTUDO DE FENÔMENOS ONDULATÓRIOS POR MEIO DE VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL

Data de aceite: 02/10/2023

Maria Eduarda Silva Castro

Patrocínio – Minas Gerais
<https://lattes.cnpq.br/9966139927603350>

Halyne Silva Borges

Instituto Federal do Triângulo Mineiro –
Campus Patrocínio
Patrocínio – Minas Gerais
<https://lattes.cnpq.br/2763504129786617>

RESUMO: Este trabalho consiste na investigação experimental de fenômenos ondulatórios por meio de aparatos desenvolvidos com tecnologias que permitem um maior aprofundamento nos conceitos estudados nas aulas de física. Dentre as atividades desenvolvidas, incluem-se desde a montagem dos experimentos, coleta e análise de dados até a preparação de materiais didáticos, bem como a elaboração de roteiros das práticas. Os fenômenos estudados são investigados por meio de três experimentos: a determinação de grandezas físicas do movimento harmônico simples em um sistema massa-mola, a medição da velocidade do som utilizando um multicronômetro com tratamento de dados, e a análise da refração de uma onda bidimensional em uma superfície líquida.

Como instrumento de ensino, esses experimentos foram aplicados aos estudantes do 2º ano do ensino médio do IFTM Campus Patrocínio, com o objetivo de desenvolver suas habilidades práticas no laboratório. Para a execução, utilizou-se um conjunto de experimentos diversos e equipamentos de alta qualidade e precisão. Esses aparatos foram desenvolvidos pela empresa CIDEPE – Centro Industrial de Equipamentos de Ensino e Pesquisa. Juntamente com os equipamentos, a CIDEPE fornece livros de atividades experimentais contendo o manual de usuário de cada um deles, utilizados durante cada experimentação. A análise e estudo dos dados obtidos em cada experimento permitem explorar e relacionar os conceitos físicos estudados na área de ondulatória, bem como analisar o impacto da instrumentação no ensino de física.

PALAVRAS-CHAVE: Experimentos; Ondulatória; Física.

STUDY OF WAVE PHENOMENA THROUGH EXPERIMENTAL VERIFICATION

ABSTRACT: This work consists of the experimental investigation of wave

phenomena through apparatus developed using technologies that enhance the relevance of the concepts studied in physics classes. The activities ranged from setting up experiments, collecting and analyzing data, to preparing teaching materials and practical guidelines. The phenomena are explored through three experiments: determining physical quantities in simple harmonic motion within a mass-spring system, measuring sound velocity using a multi-timer with data processing, and analyzing the refraction of a two-dimensional wave on a liquid surface. As teaching tools, these experiments were conducted with 2nd-year high school students at IFTM Campus Patrocínio to foster practical skills in the laboratory. The execution of these experiments involved a set of diverse equipment known for their high quality and precision, developed by the company CIDEPE - Industrial Center for Teaching and Research Equipment. Alongside the equipment, CIDEPE provides experimental activity books containing user manuals for each apparatus used during each experiment. The analysis and study of data obtained from each experiment allow for the exploration and correlation of the physical concepts studied in the field of wave physics, as well as an examination of the impact of instrumentation on physics education.

KEYWORDS: Experiments; Wave; Physics.

INTRODUÇÃO

O método experimental pode ser definido como o estudo de um fenômeno provocado artificialmente com a finalidade de verificar ou eliminar uma hipótese (SANTOS, PARRA FILHO, 2017). Nesse sentido, a experimentação se constitui como etapa imprescindível na produção do conhecimento científico, em especial, no campo da física.

Para além disso, as práticas experimentais permitem que o estudante atue como protagonista no processo de aprendizagem (SCHWANKE, 2008). Isso se deve ao fato de que a reformulação do modelo de aprendizagem, pela implementação das atividades práticas enquanto elemento complementar à metodologia tradicional de ensino, desperta a curiosidade dos alunos pela ciência e contribui para a construção do pensamento científico, uma vez que estão em contato com o método científico e trabalhando com a resolução de problemas com dados providos pela realidade.

Nesse contexto, este artigo busca divulgar resultados de três experimentos de física que abordam fenômenos ondulatórios, sendo estes: determinação de grandezas físicas (período, frequência e velocidade) do movimento harmônico simples em um sistema massa e mola helicoidal; medida da velocidade do som através de um multicronômetro com tratamento e rolagem de dados; e análise da refração de uma onda bidimensional em uma superfície líquida. Outrossim, foi analisada a contribuição destas práticas experimentais para a aprendizagem dos alunos do 2º ano do ensino médio do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Campus Patrocínio, uma vez que conteúdos de ondulatória estão previstos na unidade curricular de física dessa série.

METODOLOGIA

A execução se deu mediante a análise bibliográfica de livros didáticos de física que compreendem os conceitos envolvidos e manuais do usuário contidos nos equipamentos, os quais foram fornecidos pelo Centro Industrial de Equipamentos de Ensino e Pesquisa (CIDEPE). Isso viabilizou a montagem de cada equipamento para a realização de medidas, análise de dados, observações e escrita de relatórios.

Os experimentos montados e analisados foram: 1) determinação de grandezas físicas (período, frequência e velocidade) do movimento harmônico simples em um sistema massa e mola helicoidal; 2) medida da velocidade do som através de um multicronômetro com tratamento e rolagem de dados e 3) análise da refração de uma onda bidimensional em uma superfície líquida. Em cada um deles, relacionou-se conceitos teóricos previamente estudados às equações para a obtenção de grandezas físicas como o período e frequência da oscilação (experimentos 1), intensidade da fonte sonora e velocidade da onda (experimento 2) e índice de refração (experimento 3). A coleta de dados do experimento 1, bem como a variação da posição do corpo dentro do intervalo analisado, foi realizada por intermédio do software “Cidepe Lab V6”, projetado pela empresa concedente dos equipamentos. Já no experimento 2, as ondas sonoras eram transmitidas via bluetooth para o aplicativo “Cidepe Multi_Cronometro”, o qual determinava a velocidade do som.

Por fim, os experimentos foram implementados em atividades práticas para alunos do segundo ano do ensino médio e foi realizada uma análise de suas contribuições para o aprendizado através da aplicação de formulários para os discentes, que forneceram informações quantitativas e qualitativas.

RESULTADOS

Experimento 1: Movimento harmônico simples

Objetivo: determinação de grandezas físicas (período, frequência e velocidade) do movimento harmônico simples em um sistema massa e mola helicoidal. A montagem desse experimento ocorre mediante os itens dispostos conforme ilustra a imagem abaixo:

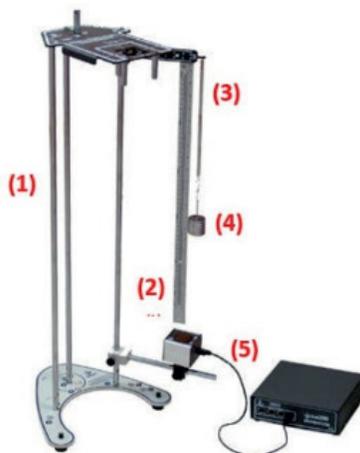


Figura 1: Conjunto do experimento 1 (MHS) - Elementos contidos no conjunto: (1) Conjunto de suporte com tripé, haste e anteparo; (2) Régua metálica 0 a 500 mm; (3) Mola; (4) Massa cilíndrica acoplável; (5) Sensor de posição ultrassônico. (Fonte: estúdios Cidepe Digital)

Inicialmente, calcula-se a massa do corpo acoplado através de um dinamômetro ou balança. A partir disso, determina-se a constante elástica (k) da mola (a força que é necessária para fazer com que ela sofra uma deformação) pela fórmula $k = \frac{P}{\Delta x}$, em que (P) é a força peso (encontrada através da multiplicação da massa pela gravidade) e (Δx) a variação do comprimento da mola (dada pela diferença entre o comprimento inicial e final, após a deformação).

Ao acoplar uma determinada massa na mola, o sistema é colocado para oscilar com uma pequena amplitude, distendendo a mola 50mm. As oscilações são então reconhecidas pelo sensor e interpretadas com o auxílio do software “Cidepe Lab V6”. Por meio do sensor ultrassônico, o software fornece algumas ferramentas que possibilitam a descrição completa do movimento da massa oscilante. Durante o experimento é possível analisar o movimento do corpo em determinado intervalo por meio da ferramenta “osciloscópio”, que fornece seu deslocamento vertical como função do tempo. Além disso, com a apropriada configuração do programa executado durante a oscilação, o software armazena em uma tabela o deslocamento do bloco oscilante como função do tempo, permitindo representar tais grandezas através de gráficos.

Utilizando 4 configurações, ou seja, variando as massas (m) e molas com diferentes constantes elásticas (k), obtém-se o gráfico com o deslocamento da posição do sistema oscilante (y) em função do tempo (t). A seguir, na figura 2, estão dispostos os gráficos dos sistemas com quatro configurações diferentes (a) $m = 0,25\text{kg}$ e $k = 16\text{N/m}$; (b) $m = 0,25\text{kg}$ e $k = 37\text{N/m}$; (c) $m = 0,1\text{kg}$ e $k = 3\text{N/m}$; (d) $m = 0,05\text{kg}$ e $k = 1,5\text{N/m}$.

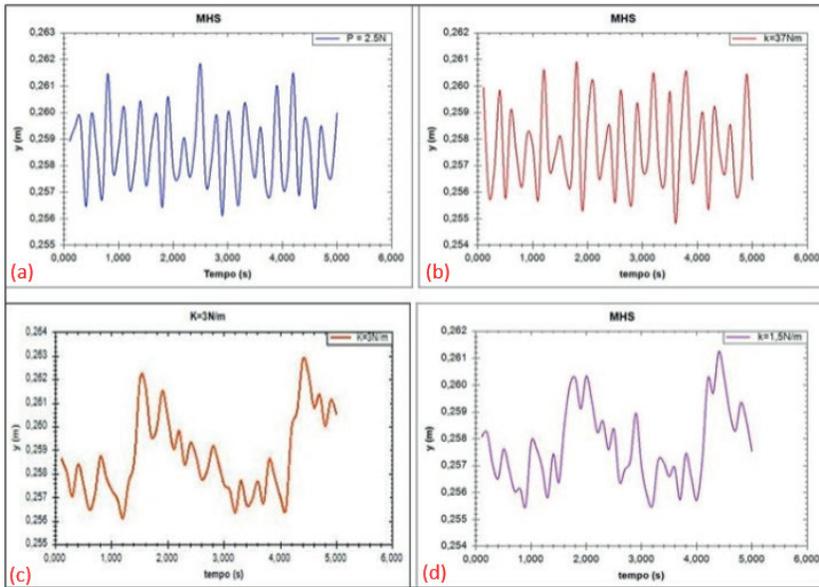


Figura 2: Deslocamento vertical da massa oscilante como função do tempo considerando diferentes valores de massa (m) e constante elástica da mola (a) $m = 0,25\text{kg}$ e $k = 16\text{N/m}$; (b) $m = 0,25\text{kg}$ e $k = 37\text{N/m}$; (c) $m = 0,1\text{kg}$ e $k = 3\text{N/m}$; (d) $m = 0,05\text{kg}$ e $k = 1,5\text{N/m}$.

Fonte: Arquivo pessoal

Na tabela abaixo é feito uma análise do movimento de cada sistema oscilante a partir da determinação da velocidade angular (ω), período (T) e frequência (f) da oscilação.

Execução	m (kg)	K (N/m)	T (s)	f (Hz)	ω (rad/s)
a	0,25	16	0,78539	1,27324	8
b	0,25	37	0,51629	1,93691	12,17
c	0,1	3	1,14657	0,87217	5,48
d	0,05	1,5	1,14657	0,87217	5,48

Tabela 1: Grandezas físicas referentes às quatro configurações de sistema massa-mola contidas na Figura 2.

O período (T), medido em segundos, é o tempo necessário para que o corpo realize uma oscilação completa. Grande parte das utilidades práticas do MHS está relacionado ao conhecimento de seu período, já que partindo dele é possível determinar outras grandezas. O período de oscilação dos sistema massa-mola é dado pela equação: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

A frequência (f) determina a quantidade de oscilações que o corpo realiza a cada segundo, inversamente ao período. Esta grandeza é determinada a partir da equação: $f = \frac{1}{T}$. Já a frequência angular (ω) corresponde à velocidade em que o ângulo de fase é percorrido, sendo este, a posição do corpo em oscilação. A frequência angular pode ser

encontrada através de duas equações, sendo elas: $\omega = \frac{2\pi}{T}$, e $\omega = \sqrt{\frac{m}{k}}$.

A partir da coleta dos dados de cada um dos quatro testes, dispostos na tabela 1, alguns aspectos puderam ser observados. Inicialmente, ao compararmos os testes 2(a) e 2(b), observa-se que foram utilizadas as mesmas quantidades de massa (m), variando apenas a constante elástica (k) das molas. Nestes resultados podemos verificar quanto maior a razão m/k , maior o período de oscilação e conseqüentemente menor a frequência. Analisando os testes 2(c) e 2(d), as massas e constantes elásticas foram alteradas proporcionalmente, isto é, a razão m/k foi mantida constante, sendo assim o período e frequência de oscilação permaneceram mesmos. Além disso, ao observar os gráficos, percebe-se certa semelhança entre os sistemas 2(a) e 2(b), que apresentam um padrão de oscilação contendo a amplitude de oscilação mais constante, quando comparados com as figuras 2(c) e 2(d). Isso se deve ao fato de que maiores constantes elásticas possibilitam a observação de um padrão oscilatório mais estável, sofrendo menores influências de fatores externos, como por exemplo o efeito da resistência do ar.

Experimento 2: Velocidade do som

Objetivo: determinar a velocidade do som através de um multicronômetro com tratamento e rolagem de dados. A montagem desse experimento ocorre mediante a presença dos seguintes itens dispostos conforme esquema apresentado na Figura 3:

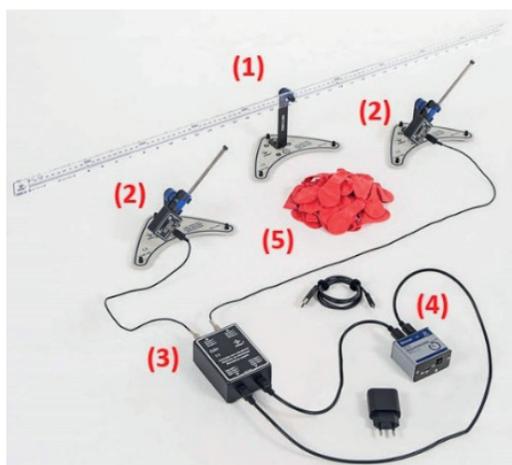


Figura 3: Montagem do experimento 2 (velocidade do som) - Elementos contidos no conjunto: (1) Régua transparente 0 a 1000 mm; (2) Sensores acústicos; (3) Acoplador para microfones e cabos; (4) Multicronômetro Bluetooth; (5) Balões. (Fonte: estúdios Cidepe Digital)

Como mostrado no esquema acima (Figura 3), a onda sonora emitida pelo estouro do balão e propagada no ar é captada pelos sensores acústicos (elemento 2) e transmitida pelo multicronômetro via bluetooth para o aplicativo “Cidepe Multi_

Cronometro”. O aplicativo móvel possui diversas funções, dentre elas, a “F9 Velocidade do Som”, na qual era necessário fornecer a distância entre os microfones. Ao receber os dados do intervalo de tempo de chegada do som em cada sensor, o aplicativo calcula a velocidade através equação $v = \frac{d}{t}$, onde (v) é velocidade, (d) distância e (t) tempo:

Balão	d (m)	t (s)	V (m/s)
1	0,2	0,0005769	346,68
2	0,4	0,0011594	345,00
3	0,6	0,0017454	343,76
4	0,8	0,0023634	338,50
5	1,0	0,0028914	345,85

Tabela 2: Grandezas físicas medidas e calculas a partir do experimento 2.

Sabe-se que o som é uma onda mecânica, sendo assim, sua propagação está condicionada à existência de um meio material, seja ele sólido, líquido ou gasoso. A energia da fonte sonora é transportada de um ponto ao outro por meio da vibração dos átomos em torno de um ponto de equilíbrio, sem a presença de deslocamento juntamente à onda.

Existe uma variedade de aspectos que podem influenciar na velocidade de propagação do som, bem como o tipo de meio. Nesse experimento, o meio de propagação foi o próprio ar e, sob pressão constante, quanto mais elevada for a temperatura, menor sua densidade, fazendo com que a onda se propague mais rapidamente. Quando o meio de propagação do som é o ar, e a temperatura do ambiente é em torno de 25 °C, a velocidade do som é de, aproximadamente, 344 m/s. Nesse caso, a velocidade média dos cinco testes é 343,96 m/s.

Experimento 3: Refração de uma onda bidimensional em superfície líquida

Objetivo: análise do fenômeno de refração de uma onda bidimensional em uma superfície líquida. Dessa forma, pretendeu-se verificar que uma onda ao passar de uma profundidade para outra se refrata obedecendo as Leis da Refração: 1ª – O raio incidente, o raio refratado e a normal ao espelho, no ponto de incidência, estão no mesmo plano; 2ª – Os senos dos ângulos, incidente (θ_A) e refratado (θ_B), são diretamente proporcionais às velocidades da onda nos respectivos meios, descritos pela Lei de Snell Descartes ($n_A \cdot \text{sen}\theta_A = n_B \cdot \text{sen}\theta_B$) e reconhecer que a refração nem sempre é acompanhada do desvio na trajetória da onda – caso a trajetória do raio incidente seja perpendicular à superfície separadora dos meios – mas, sempre gera variação na velocidade de propagação. Além disso, neste experimento é possível determinar o índice de refração relativo do meio líquido devido a variação da profundidade.

Este experimento é realizado a partir dos seguintes itens dispostos na Figura 4.



Figura 4: Montagem do experimento 3 (refração de uma onda bidimensional) - Elementos do conjunto: (1) Cubo de ondas; (2) Iluminador de luz fria e estrobeflash; (3) Ponteira geratriz plana; (4) Gerador de abalos; (5) Conjunto suporte com tripé e haste; (6) Placa de vidro. (Fonte: estúdios Cidepe Digital)

Nessa disposição, a cuba de ondas é preenchida com água e a placa de vidro imersa no líquido. Em seguida, o gerador de abalos provoca ondas na água e é possível observar o fenômeno de refração de uma onda bidimensional que se dá, neste caso, na superfície líquida, quando a onda passa de meio de propagação para outro, ou seja, passa de uma região de maior profundidade para outra região de menor profundidade, sendo aquela ocupada pela placa de vidro, a de menor profundidade.

Nesse fenômeno, a frequência da onda não se altera, uma vez que ela depende apenas da fonte que gera as ondas. No entanto, a velocidade e comprimento de onda podem mudar. Isso pode ser representado através da equação fundamental da ondulatória: $v = \lambda \cdot f$, em que (v) representa a velocidade, (λ) o comprimento de onda e (f) a frequência. Uma vez que a frequência permanece a mesma, a velocidade e o comprimento de onda crescem ou decrescem de maneira diretamente proporcional.

O índice de refração (n) é uma relação entre a velocidade da luz no vácuo (c) e a velocidade da luz em determinado meio (v), descrito através da equação: $n = \frac{c}{v}$. O índice de refração relativo é dado pela razão entre os índices de refração de dois meios diferente (n_A/n_B). Para calcular o índice de refração relativo no experimento, primeiramente considerou-se que a frente de onda incidente é aquela que se propaga na região mais profunda (fora da região da placa de vidro), portanto meio A, e a frente de onda refratada aquela que se propaga na região mais rasa (sobre o vidro), portanto meio B. Tendo como referência uma reta traçada, determinou-se o ângulo entre a onda incidente do meio A e da onda refratada do meio B, denominados θ_A e θ_B .

Encontrou-se $\theta_A = 56^\circ$ e $\theta_B = 50^\circ$, entretanto, os valores foram corrigidos devido ao fator de correção da imagem projetada ($F_A = 0,55$): $= \theta_A F_A = 30,08^\circ$ e $\theta_B F_A = 27,5^\circ$.

Assim, calculou-se o seno dos dois ângulos: $\text{sen}\theta_A = 0,501$ e $\text{sen}\theta_B = 0,461$. A partir disso, utilizou-se a Lei de Snell, que associa os diferentes índices de refração dos meios com seus respectivos ângulos de incidência e de refração: $\frac{n_A}{n_B} = \frac{\text{sen}\theta_B}{\text{sen}\theta_A}$. Obteve-se então, por fim, o índice de refração relativo: $\frac{n_A}{n_B} = \frac{0,461}{0,501} \rightarrow \frac{n_A}{n_B} = 0,912$.

Contribuições para a prática pedagógica

As atividades práticas com discentes foram viabilizadas pela produção de roteiros de atividade, os quais demonstram o passo a passo da execução dos experimentos de maneira mais objetiva e clara em comparação aos manuais de usuário. Além disso, explicam os fenômenos a serem analisados, bem como quais grandezas são quantificadas através da aplicação das fórmulas.

O aperfeiçoamento da compreensão de física foi perceptível por meio dos resultados de uma pesquisa que buscou avaliar desde o interesse dos discentes, até o melhoramento de seu desempenho na disciplina. O apuramento em questão foi realizado através de um formulário em que os alunos relataram o impacto da experimentação em seu aprendizado, conforme a figura 5.

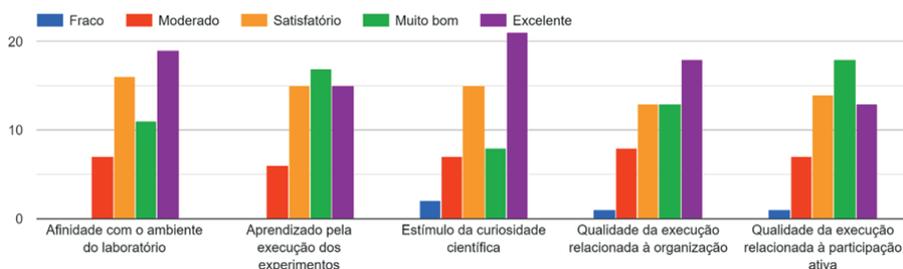


Figura 5: Gráfico das respostas fornecidas pelos alunos no formulário.

A pesquisa foi respondida por 50 alunos do segundo ano do ensino médio. Ao analisar o gráfico que quantifica o grau engajamento baseado em cinco aspectos das práticas experimentais. Observa-se que o estímulo da curiosidade científica se apresenta como fator mais bem avaliado pelos estudantes, como previsto. O aprendizado proporcionado pela execução dos experimentos também obteve uma avaliação geral satisfatória. Ademais, as avaliações correspondentes à qualidade da execução relacionada tanto à organização como participação ativa, além da afinidade com o ambiente do laboratório, e juntamente com comentários, permitem identificar possíveis maneiras de melhorar a prática em conjunto.

CONCLUSÕES

Em suma, as principais contribuições da pesquisa estão relacionadas às aplicações da prática experimental, a qual proporcionou participação ativa no que compreendem as etapas do método científico, sendo possível através da mesma, a apuração de resultados previstos pelo conhecimento teórico. Nesse sentido, compreende-se o processo de produção do conhecimento científico. A investigação de fenômenos ondulatórios através de aparatos capazes de realizar a coleta de dados com maior precisão notabiliza-se ao proporcionar aprimoramento do processo de aprendizagem.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, B. A.; MÁXIMO, A. R. **Física: Contexto & Aplicações: ensino médio**. 2. ed. São Paulo: Editora Scipione, 2016. Vol. 2.

CIDEPE. **CIDEPE – Centro industrial de Equipamentos de Ensino e Pesquisa, 2022. Cidepe Digital**. Disponível em: <https://www.cidepe.digital.com.br>. Acesso em: 02 de setembro de 2023.

RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P. A. **Os Fundamentos da Física 2: Termologia, Óptica e Ondas**. 9. ed. São Paulo: Editora Moderna, 2014. Vol. 2.

SANTOS, João Almeida; PARRA FILHO, Domingos. **Metodologia Científica**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning. 2017.

SCHWANKE, C., CARUSO F., BIANCONI M. L. **Instrumentação para o ensino de Ciência**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, vol. Único, 278p, 2008.